



HAL
open science

Vieillessement des géosynthétiques-filtres utilisés dans le drainage des ouvrages hydrauliques : enseignements tirés du démantèlement d'un dispositif expérimental ancien

P. Meriaux, G. Veylon, Y.H. Faure, R. Gallo, D. Nivon, M. Barthe, C. Bertrand

► To cite this version:

P. Meriaux, G. Veylon, Y.H. Faure, R. Gallo, D. Nivon, et al.. Vieillessement des géosynthétiques-filtres utilisés dans le drainage des ouvrages hydrauliques : enseignements tirés du démantèlement d'un dispositif expérimental ancien. 2ème Colloque National Dignes Maritimes et Fluviales de Protection contre les Submersions (Dignes 2013), Jun 2013, Aix-en-Provence, France. pp.586-597. hal-01544788

HAL Id: hal-01544788

<https://hal.science/hal-01544788>

Submitted on 22 Jun 2017

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Vieillesse des géosynthétiques-filtres utilisés dans le drainage des ouvrages hydrauliques : enseignements tirés du démantèlement d'un dispositif expérimental ancien

Ageing of geosynthetics used in drainage-filtration of dams and dikes: lessons deduced from the dismantling of an experimental site of drainage trenches

P. Mériaux¹, G. Veylon¹, Y.-H. Faure², R. Gallo³, D. Nivon⁴, M. Barthe¹, C. Bertrand⁵

¹ Irstea - UR Ouvrages hydrauliques et hydrologie, Aix-en-Provence, patrice.meriaux@irstea.fr, guillaume.veylon@irstea.fr

² LTHE-Equipe TRANSPORE, Grenoble, yves-henri.faure@ujf-grenoble.fr

³ Irstea - UR Hydrosystèmes et Bioprocédés, Antony, roland.gallo@irstea.fr

⁴ SNCF - INFRA INGENIERIE, La Plaine Saint Denis, damien.nivon@sncf.fr

⁵ O.N.F. - Service Départemental RTM de l'Isère, Grenoble, cecile.bertrand@onf.fr

Résumé

Les dispositifs de drainage-filtration forment les derniers remparts face au mécanisme d'érosion interne des ouvrages hydrauliques, et en particulier des digues. La durabilité des drains, très souvent filtrés par des produits géosynthétiques, est d'autant plus cruciale qu'ils sont quasiment impossibles à réparer une fois construits.

Afin de mieux comprendre les phénomènes de colmatage des drains et des filtres, Irstea et le LTHE ont initié le projet de recherche « DrainAgeing » visant à démanteler un site expérimental de tranchées drainantes, créé en 1993 à Roissard (Isère).

Ce dispositif comportait six tranchées drainantes de 2,5 m de profondeur maximum et de 12 m de longueur, terrassées dans les argiles litées du site et filtrées ou drainées avec différents produits géosynthétiques.

Au terme de 18 années de fonctionnement et d'auscultation, cinq des six tranchées ont été partiellement excavées en septembre 2011 à des fins d'observation et de prélèvements d'échantillons de géomatériaux, pour essais et analyses.

Les résultats des essais confirment les amorces de colmatage de certaines tranchées que l'auscultation permettait de soupçonner. D'après nos observations, ce sont essentiellement aux interfaces géotextiles-sols que se produisent des phénomènes de colmatage : formation d'un « cake » plus ou moins épais à l'amont des nappes géotextiles et dépôts de calcite plus ou moins poreux à l'aval. Les dépôts de calcite sont également observés à l'interface sol (argile)-gravette sur la seule tranchée non équipée de filtre géotextile. Dans les tranchées non filtrées ou équipées d'un filtre à forte ouverture de filtration, de la boue liquide s'est déposée le long du drain autoroutier de fond.

Les principaux enseignements issus de cette expérimentation sont récapitulés en conclusion, et on y formule des premières recommandations pratiques.

Abstract

The drainage-filtration systems are the last defenses against the internal erosion mechanism occurring on hydraulic structures, particularly dikes. The durability of drains, often filtered by geosynthetic products, is even more crucial given that they are almost impossible to repair.

To better understand the ageing and clogging phenomena of drains and filters, Irstea and LTHE initiated the research project "DrainAgeing" which principally consisted in dismantling an experimental site of drainage trenches, created in 1993 Roissard (Isère).

The experimental site includes four drainage trenches from 2.0 to 2.5 m deep, about 12 m length, terraced in varved clays and protected by various geosynthetic products.

After 18 years of operation and monitoring, five of the six trenches were partially excavated in September 2011 in order to make field observations and collect samples for mechanical and hydraulic laboratory tests.

The results seem to confirm the clogging of some trenches suspected from the auscultation data analysis. According to our observations, this clogging mainly occurs at the soil/geotextile interfaces: formations of a more or less thick "cake" upstream the geotextile and of a calcite crust more or less porous downstream. Calcite crust is also observed at the soil(argile)/gravel interface in the drainage trench not equipped with a filter. In this last trench and also in trenches equipped with a high filtration opening geotextile, mud is lying along the drain at the trench bottom. In conclusion, main lessons deduced from this experimentation and first practical recommendations are formulated.

Introduction

D'une façon générale, dans l'important parc des ouvrages hydrauliques en remblai que possède la France, les dispositifs de drainage-filtration forment les derniers remparts face au mécanisme d'érosion interne. La durabilité des drains, quasi-systématiquement filtrés par des produits géosynthétiques pour les réalisations de moins de 30 ans, est d'autant plus cruciale que ceux-ci sont implantés au cœur des remblais et se révèlent quasiment impossibles à réparer une fois construits. Le parc des digues de protection est largement concerné par cette question et le sera encore plus dans les années à venir du fait d'une explosion plus que probable des opérations de confortement des ouvrages par recharge drainante ou étanche. Dans ce contexte et afin de mieux comprendre les phénomènes de colmatage à moyen ou long terme des drains et des filtres en environnement géotechnique argileux, le Projet National (PN) de recherche ERINOH (2008-2011) a labellisé et soutenu l'opération « DrainAgeing », initiée par Irstea et le LTHE et visant à démanteler un site expérimental ancien de tranchées drainantes, créé en 1993 à Roissard (Isère).

Ce dispositif expérimental - unique en son genre - comportait six tranchées drainantes de 2,5 m de profondeur maximum et de 12 m de longueur, terrassées dans les argiles litées du site et filtrées ou drainées avec différents produits géosynthétiques.

Au terme de 18 années de fonctionnement, durant lesquelles elles ont été finement auscultées par une batterie de piézomètres et débitmètres, cinq des six tranchées ont été partiellement et précautionneusement excavées en septembre 2011 à des fins d'observation et de prélèvements d'échantillons de géomatériaux, pour essais et analyses.

La présente communication, après avoir rappelé l'historique de l'opération et de l'auscultation du site, rapporte les observations faites lors du chantier de démantèlement et commente les résultats des essais sur matériaux vieillis. Enfin, sont formulés les principaux enseignements et recommandations que l'on peut émettre, au terme de cette expérimentation en vraie grandeur, pour la conception, la mise en oeuvre et l'entretien des drains et géosynthétiques-filtres en site analogue.

Historique et auscultation du site

Description du site et objectifs de sa création

Le dispositif de tranchées drainantes de Roissard a été créé en septembre 1993 sur un terrain à pente homogène douce (5%) en bordure d'une prairie [1]-[2]. Les argiles litées sont subaffleurantes sur le site qui s'étend en périphérie amont d'une zone marécageuse, drainée par deux ruisseaux.

Initialement, ce site expérimental a été conçu par le Service RTM de l'Isère et l'IRIGM (intégré au LTHE depuis), avec le soutien du Pôle Grenoblois des Risques Naturels, pour

étudier le vieillissement des tranchées drainantes mises en oeuvre classiquement dans les travaux de stabilisation des glissements de terrain sur versants argileux.

Il comprend six tranchées drainantes de 2 à 2,5 m de profondeur, numérotées T1 à T6 et aménagées comme suit (Figure 1 et Tableau 1) :

- la tranchée T1 - dite témoin - dépourvue de dispositif-filtre, c'est-à-dire simplement remblayée de gravette calibrée 30/60 après son creusement, puis recouverte d'une couche de 40 cm de terre végétale ;
- la tranchée T2 équipée d'un géotextile non-tissé aiguilleté de 130 g/m² de masse surfacique et de 140 µm d'ouverture de filtration (Of), disposé uniquement sur sa face supérieure horizontale (sous la couche de terre végétale) ;
- la tranchée T3 dotée du même géotextile-filtre que T2 mais installé - comme classiquement dans les drains opérationnels - sur toute la périphérie de la tranchée drainante ;
- la tranchée T4 équipée sur toute sa périphérie d'un géotextile tissé de bandelettes de 190 g/m² et de 110 µm d'ouverture de filtration ;
- la tranchée T5 équipée, sur toute sa périphérie (comme T3 et T4), d'un géotextile tissé de mono-filaments de 200 g/m², dont l'ouverture de filtration est de l'ordre du millimètre ;
- la tranchée T6 creusée avec la même forme trapézoïdale, mais équipée d'un géocomposite drainant à picots en polypropylène de 3 cm d'épaisseur entouré par un géotextile non-tissé aiguilleté de 233 g/m² et de 100 µm d'ouverture de filtration. Ce complexe filtrant et drainant a été installé contre la paroi amont de la tranchée, avant remblaiement par les terres extraites.

Les tranchées font 12 m de longueur et comportent en fond, sauf pour la tranchée T6, un drain de diamètre 160 mm de type autoroutier, à cunette sans fente, destiné - comme dans les ouvrages couramment réalisés à l'époque - à collecter les débits interceptés par le drain et à les écouler vers l'aval sans qu'ils puissent se réinfiltrer dans le terrain. Les argiles litées en place ont été rencontrées vers 90 cm de profondeur, sous une couche de 20 à 30 cm de terre végétale et de 60 à 70 cm d'argile remaniée homogène.

Auscultation : instrumentation et analyse 1993-1999

Un dispositif approprié de collecteurs et de bacs décanteurs et filtreurs permet, depuis le fond de quatre regards de visite, le jaugeage individuel des 6 débits de drainage ainsi que la récolte du transport solide des eaux de drainage. La piézométrie de part et d'autre de chaque tranchée est suivie par 6 tubes piézométriques de 2 m de profondeur. La pluviométrie journalière est fournie par la station météorologique voisine de Roissard.

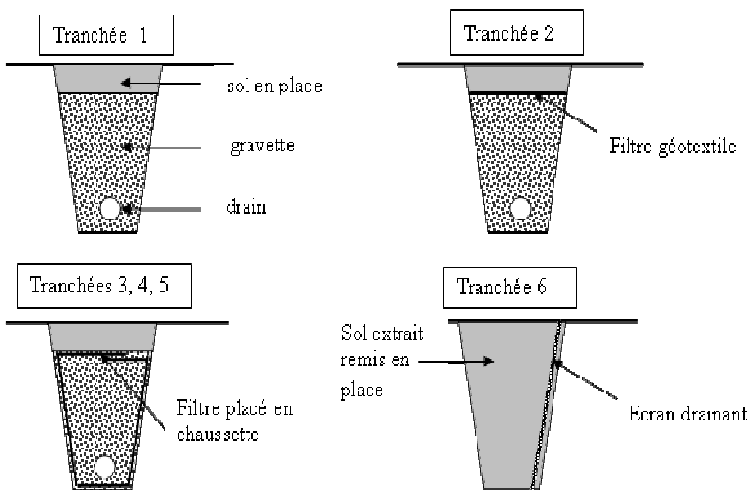


FIGURE 1. VUES EN COUPE DES TRANCHEES DRAINANTES

TABLEAU 1. CARACTERISTIQUES PHYSIQUES DES GEOSYNETHIQUES DES TRANCHEES DRAINANTES

| Tranchée | Structure | Epaisseur (mm) | Masse surfacique (g/m ²) | Ouverture de filtration (µm) |
|----------|---|----------------|--------------------------------------|------------------------------|
| T1 | sans géotextile | | | |
| T2 | Non tissé aiguilleté (en couverture uniquement) | (1,6) | (130) | (140) |
| T3 | Non tissé aiguilleté | 1,6 | 130 | 140 |
| T4 | Tissé de bandelettes | 0,7 | 190 | 110 |
| T5 | Tissé de monofilaments | | 200 | 1000 |
| T6 | Géocomposite drainant | 27,2 | 233 (géotextile) | 100 |

Le site a d'abord été ausculté de 1993 à 1999 sur la base de campagnes mensuelles de mesures des piézomètres et de jaugeage par empotement des débits de drainage. Les mesures de débit ont pu être analysées statistiquement avec succès en 2010 à l'aide du logiciel d'Irstea SURVEY. L'analyse montre [3] que la tranchée 2 se singularise parmi les six tranchées étudiées et présente une forte dérive négative des mesures avec le temps (de l'ordre de 20 l/mn en 6 ans de 1993 à 1996), ce qui pourrait résulter de son colmatage progressif. Les variations de débit sont expliquées à 17 % par la variation du piézomètre référent (remplaçant la « cote du plan d'eau », SURVEY étant un logiciel dédié aux barrages), à 32 % par la pluviométrie, à 38 % par les effets saisonniers et à 13 % par le temps (variation irréversible ou dérive), pour un R2 de 0,8.

Auscultation 2008-2011 et synthèse sur le comportement des tranchées

Dans la perspective du démantèlement des tranchées prévu par le projet « DrainAgeing », l'auscultation a été reprise de 2008 à 2011 [4]. A partir de début 2010, les exutoires des collecteurs des tranchées drainantes ont été équipés d'un dispositif de mesure automatique (débitmètre à auget basculeur) et de même qu'un piézomètre par tranchée, permettant un suivi en continu [5].

Les principales conclusions que l'on peut formuler sur le comportement des tranchées, à l'issue de leur auscultation en deux phases, s'énumèrent comme suit :

- les débits moyens actuels des tranchées sont compris entre 3 et 6 l/mn (abstraction faite de la tranchée T1 dont le débit est inférieur à 1 l/mn depuis l'origine) ;
- se singularisant des autres, le débit moyen de la tranchée T2, la plus débitante du dispositif à l'origine (plus de 15 l/mn), est tombé à 3 l/mn et l'analyse SURVEY suspecte une baisse de ce débit à conditions constantes : d'où la question, la tranchée T2 souffre-t-elle d'un colmatage progressif ? ;
- les débits atteignent classiquement leur maxima en période hivernale, avec une prolongation au printemps lorsque celui-ci est pluvieux ;
- les niveaux d'eau dans les piézomètres suivent les mêmes variations saisonnières que les débits des tranchées. Les profils transversaux confirment les rabattements de ligne piézométrique résultant de l'effet des tranchées drainantes ;
- les dispositifs de mesure automatique installés début 2010 montrent que les débits de drainage et les niveaux piézométriques connaissent des variations infrajournalières importantes, avec un "effet retard" de quelques heures à un jour par rapport à l'occurrence des épisodes pluvieux.

Observations lors du démantèlement

Déroulement du chantier et prélèvements

Le chantier de démantèlement partiel des tranchées drainantes a démarré le 12/09/2011 et portait sur les tranchées T2 à T6. Les travaux ont consisté à déblayer prudemment, à l'aide d'une pelle mécanique de 13 t (Figure 2) et le long d'un segment d'environ 6 m vers le milieu de la tranchée, tout d'abord le sommet de l'ouvrage jusqu'au repli horizontal du géosynthétique, puis, par passes de 50 cm de profondeur, le sol encaissant côté amont de sa paroi amont et la gravette de remplissage de la tranchée.

Grâce à de très bonnes conditions météorologiques, le chantier a été réalisé, au final, en l'espace de deux semaines : soit deux jours de travail environ par tranchée.



FIGURE 2. DEBUT DE DEBLAIEMENT DE LA TRANCHEE T2.

Ceci a permis d'effectuer :

- 5 prélèvements de géotextile pour essais de perméabilité, d'ouverture de filtration, de capacité de débit et de résistance à la traction ;
- 41 prélèvements de sol (argile) pour des essais d'identification, de perméabilité et d'érosion interne (HET) ;
- 22 prélèvements de gravette calibrée de remplissage des tranchées pour des essais granulométriques et sédimentométriques ;
- 3 prélèvements intacts par tranchée d'interface sol/géotextile/gravette pour des essais de gradient-ratio sur échantillons non remaniés (Figure 3) ;
- 5 prélèvements de segments de drain autoroutier de fond de tranchée (T2 à T5).

A la demande du propriétaire, les tranchées drainantes ont ensuite été remise en état de fonctionnement (reconstitution du drain autoroutier en fond et remblaiement sommaire avec de la gravette) et les têtes des regards de visite ont été retirées. L'auscultation du site n'est désormais plus possible et son caractère expérimental est abandonné, compte tenu des remaniements importants et inévitables opérés.

Observations visuelles sur les géotextiles excavés

Tranchée par tranchée, les observations visuelles effectuées in situ se récapitulent comme suit [6] :



FIGURE 3. PRELEVEMENT D'ECHANTILLON INTACT A L'INTERFACE TRANCHEE/SOL (T2).

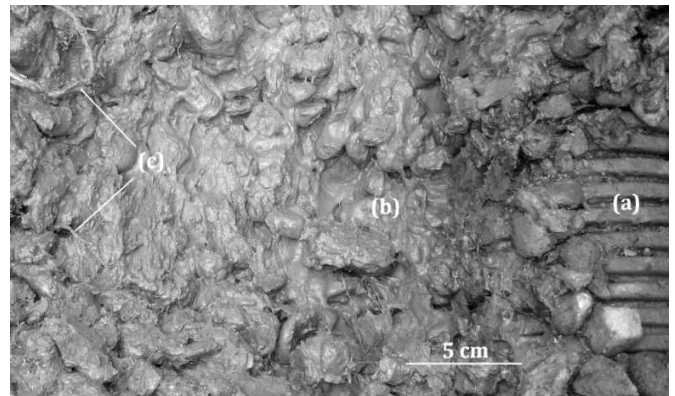


FIGURE 4. TRANCHEE T2. FOND DE TRANCHEE : (A) DRAIN, (B) SUSPENSION DE FINES, (C) RACINES.

Tranchée T2

L'ouverture de la tranchée T2 montre un colmatage significatif du matériau de drainage (gravette) qui augmente avec la profondeur. Au fond de la tranchée, le drain est immergé dans une suspension boueuse constituée de sédiments fins (Figure 4).

L'interface entre l'argile litée encaissante et la tranchée reste bien nette, sans envahissement visible d'argile vers la gravette (Figure 3), mais est recouverte d'une couche de calcite quasi continue côté gravette (Figure 5). La calcification s'étend aux galets voisins sur une profondeur atteignant plusieurs centimètres à la base de tranchée.

Tranchée T3

Sur la face amont du géotextile (Figure 6), une pâte homogène d'environ 10 à 20 millimètres d'épaisseur (que nous qualifierons de « cake »), de couleur marron clair, est traversée par un réseau de petits canaux de diamètre millimétrique à centimétrique s'étendant parallèlement à

l'interface argile/géotextile à partir d'arrivées d'eau perpendiculaires au plan du géotextile. Ce phénomène pourrait s'apparenter à un phénomène d'érosion interne local du sol en amont du géotextile.

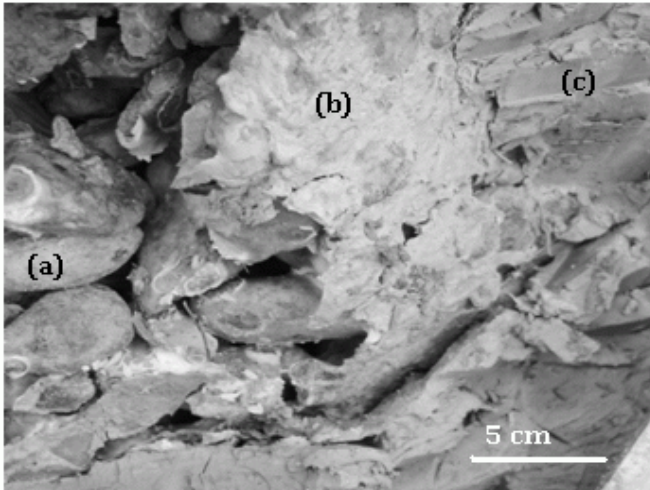


FIGURE 5. TRANCHEE T2. INTERFACE SOL/TRANCHEE VUE DEPUIS L'AMONT : (a) GRAVETTE, (b) INTERFACE CALCIFIEE, (c) ARGILE LITEE EN PLACE.

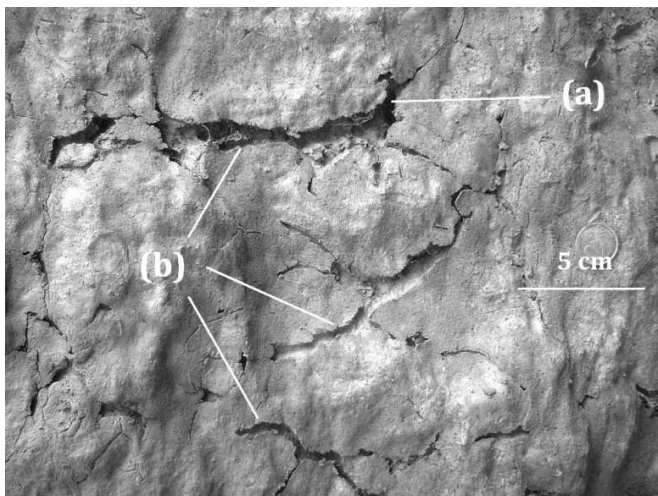


FIGURE 6. TRANCHEE T3. INTERFACE SOL/GEOTEXTILE VUE DEPUIS L'AVANT : (a) ARRIVEE D'EAU, (b) CANAUX D'EROSION

Sur la face aval du géotextile (Figure 7), les galets sont incrustés dans le géotextile et maintenus par une fine couche de calcite. Le géotextile est colmaté à sa surface entre les galets, mais semble en bon état (pas de déchirures constatées).

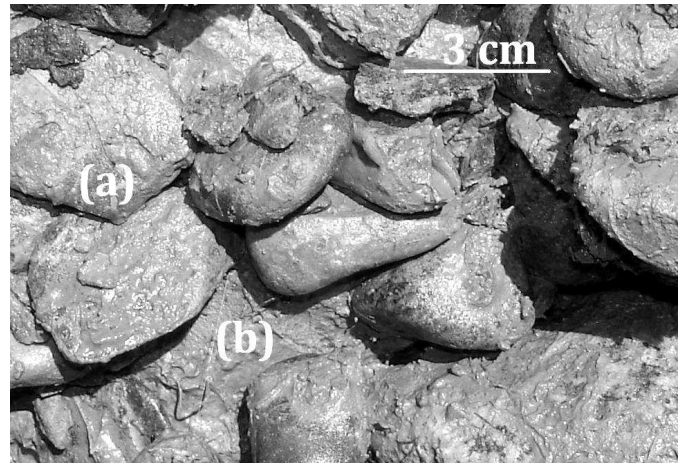


FIGURE 7. TRANCHEE T3. INTERFACE GEOTEXTILE/GRAVETTE VUE DEPUIS L'AVANT : (a) GALET INCRUSTE, (b) CROUTE DE CALCITE.

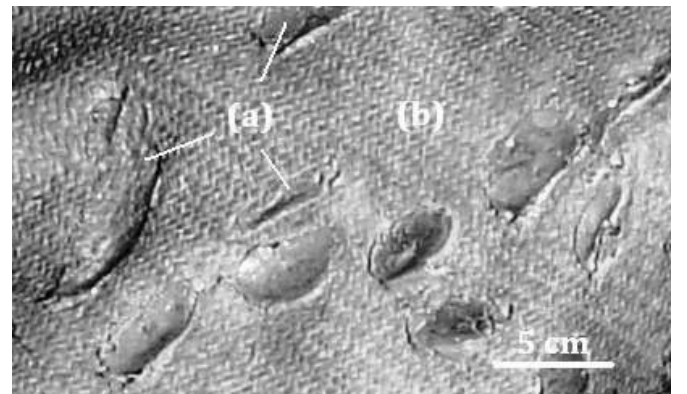


FIGURE 8. TRANCHEE T4. INTERFACE GEOTEXTILE/GRAVETTE VUE DEPUIS L'AMONT : (a) GALETS INCRUSTES, (b) CROUTE DE CALCITE.

Tranchée T4

Sur la face amont du géotextile (Figure 8), nous avons également observé la formation d'un « cake » de 20 à 40 millimètres d'épaisseur constitué de particules fines. Localement, un réseau de racines en décomposition s'est développé à l'interface. Sur le mètre inférieur de la tranchee, en aval du géotextile, une croûte de calcite s'est formée en enveloppant les galets (Figure 9). Localement, on constate le développement d'un réseau racinaire important au sein de la gravette.

Des observations ultérieures au microscope à balayage électronique ont permis de montrer un encroûtement de calcite quasi-continu sur la face aval (i.e. côté tranchee) du tissé de bandelettes.

Tranchée T5

Sur la tranchee T5, la face amont du géotextile ne montre pas de croûte de calcite continue. Toutefois, une mince couche homogène de particules fines est observée. Son épaisseur varie de 2 à 10 mm environ. Contrairement à la tranchee T3,

il n'a pas été observé de canaux d'érosion au sein de ce «cake» (Figure 10).

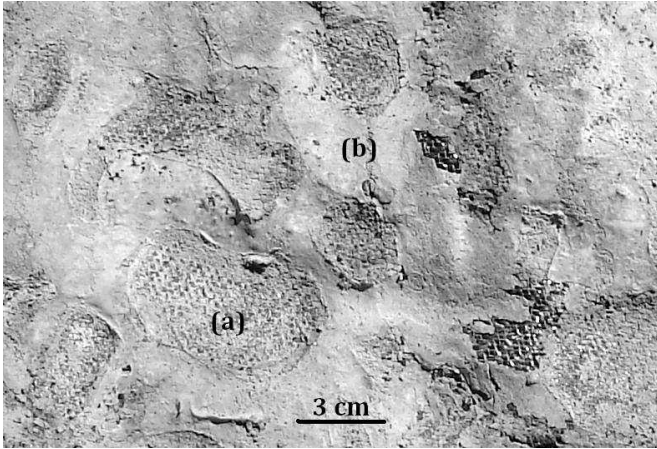


FIGURE 9. TRANCHEE T4. INTERFACE GEOTEXTILE/GRAVETTE VUE DEPUIS L' AVAL. (a) EMPREINTE DE GALET, (b) CROUTE DE CALCITE INTER-GALET.



FIGURE 10. TRANCHEE T5. INTERFACE SOL/GEOTEXTILE VUE DEPUIS L' AVAL.

Comme pour les autres tranchées, l'examen de la face aval du géotextile montre des galets noyés dans une croûte de calcite/argile à proximité des racines fines (Figure 11).

Dans les zones d'écoulement préférentiel, le débit à travers le géotextile a maintenu le géotextile presque totalement propre (Figure 12).

Le fait que le phénomène de colmatage n'ait pas été en mesure de se développer complètement peut être lié à la grande perméabilité du géotextile qui permet des vitesses d'écoulement suffisamment importantes pour que le colmatage par calcification soit limité.

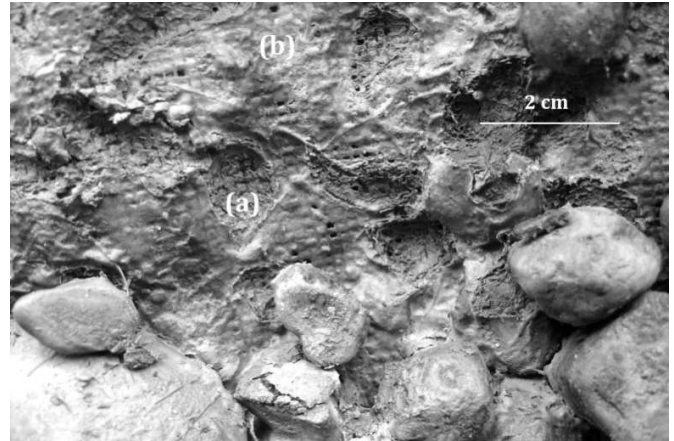


FIGURE 11. TRANCHEE T5. INTERFACE GEOTEXTILE/GRAVETTE VUE DEPUIS L' AVAL : (a) EMPREINTE DE GALET, (b) CROUTE DE CALCITE.

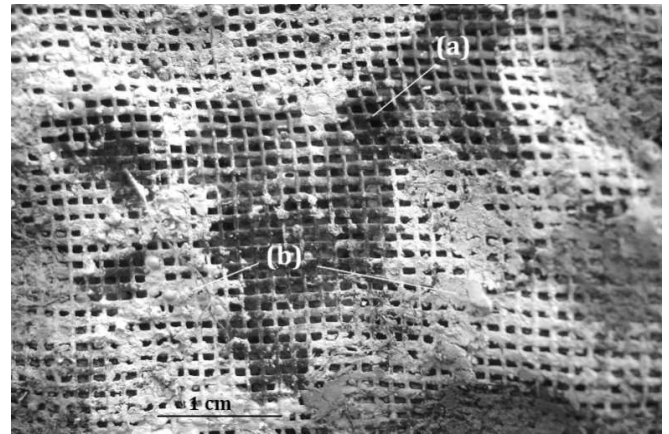


FIGURE 12. TRANCHEE T5. INTERFACE GEOTEXTILE/GRAVETTE VUE DEPUIS L' AVAL DANS UNE ZONE D'ARRIVEE D'EAU : (a) ARRIVEE D'EAU, (b) CALCITE.

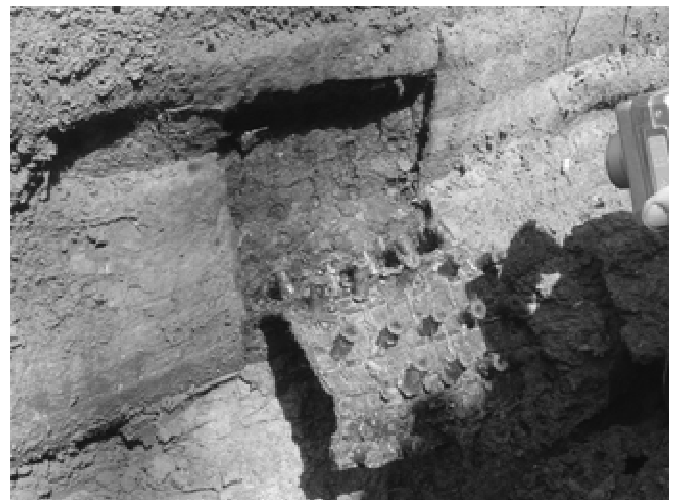


FIGURE 13. TRANCHEE T6. DECOUPE DE LA FACE AMONT DU GEOCOMPOSITE DRAINANT.

Tranchée T6

Confirmant l'inspection télévisuelle par robot faite à l'été 2009 à son exutoire, le géocomposite drainant de la tranchée T6 est apparu comme très vieilli et encroûté par la calcite en partie basse (Figure 13).

Curieusement, les effets de ce vieillissement ne se faisaient pas encore ressentir sur les débits de drainage.

Drains autoroutiers de fond de tranchée

Visuellement, les fentes des drains sont partiellement ou totalement colmatées avec de l'argile et/ou des concrétions calciques. Les taux de colmatage estimés visuellement sont synthétisés dans le tableau 2.

Ces résultats suggèrent que l'ouverture géométrique de géotextiles et/ou les phénomènes physico-chimiques se produisant à l'interface sol/géotextile influencent ce qui se produit au niveau des drains. Les drains de fond des tranchées T2 et T5 ont un taux de colmatage plus élevé que les tranchées T3 et T4 : une grande ouverture de filtration semble induire un colmatage des drains plus important et inversement.

Synthèse des observations

Le colmatage interne des géotextiles ne paraît pas être un facteur déterminant de la baisse de capacité de drainage des tranchées.

La baisse de performance des tranchées semble dépendre du développement des trois phénomènes suivants :

- « cake » en face amont des géotextiles,
- croute de calcite en face aval des géotextiles,
- colmatage des fentes des drains.

D'après la synthèse qualitative du tableau 3, ces phénomènes semblent être corrélés entre eux : l'épaisseur du « cake » amont semble corrélée positivement avec celle de la croute de calcite aval et ces deux paramètres semblent corrélés négativement avec le colmatage des drains autoroutiers.

TABLEAU 2. TAUX DE COLMATAGE DES DRAINS.

| Tranchée | Nb total de fentes examinées (-) | Nb fentes colmatées (-) | Taux de colmatage (%) |
|----------|----------------------------------|-------------------------|-----------------------|
| T2 | 630 | 460 | 73 |
| T3 | 420 | 89 | 21 |
| T4 | 300 | 48 | 16 |
| T5 | 405 | 243 | 60 |

Caractéristiques hydrauliques et mécaniques des géotextiles

Les essais hydrauliques, exécutés suivant les normes en vigueur, sur géotextiles et produits apparentés prélevés sur le site expérimental ont été réalisés au Plateau Recherche Technologique Géosynthétiques, ainsi que les essais physico-chimiques sur deux produits ciblés au laboratoire de chimie, d'Irstea Antony (92). Les essais mécaniques standards ont été sous-traités à l'Institut Français Textiles Habillement (IFTH) de Lyon (69).

Tous les prélèvements d'éprouvette sur produits vierges et usagés pour la réalisation des essais ont été découpés et conditionnés suivant la norme NF EN ISO 9862.

TABLEAU 3. CARACTERISTIQUES HYDRAULIQUES ET MECANIQUES MESUREES SUR ECHANTILLONS VIERGES ET USAGES DE GEOTEXTILES ET PRODUITS APPARENTES PRELEVES DANS LES TRANCHEES T2, T3 ET T4.

| Essais | Tissé de bandelettes | | Non tissé aiguilleté | | | |
|---|--------------------------|--------------------------|---------------------------------|----|--------------------------|--------------------------|
| | Produit vierge | Produit pollué | Produits vierges | | Produits pollués | |
| | T4 | | T2 | T3 | T2 | T3 |
| Hydrauliques | | | | | | |
| Of d95 (µm) | 163 +/-24 | 155 +/-23 | Fiche techn. 140 | | 131 +/-20 | 114 +/-17 |
| Perméabilité (m.s ⁻¹)* | 0,013 +/-0,003 | 0,003 +/-0,001 | --- | | 0,021 +/-0,010 | 0,029 +/-0,024 |
| Capacité (m ² .s ⁻¹) | > 1 E-08 | 1,2 E-07 | Fiche techn. 1,7 E-07 | | 1,1 E-07 | 3,7 E-08 |
| Mécaniques | | | | | | |
| Traction : Force rupture (N) | 2042,2 | 1908,6 | 263,9 | | 260,3 | 298,2 |
| Allongement rupture (%) | 17,1 | 15,7 | 50,5 | | 47,4 | 36,7 |

*NB : au sens de la norme applicable à l'époque (1993).

TABLEAU 4. SYNTHÈSE DES OBSERVATIONS VISUELLES (T2 A T5)

| Tranchée | e (mm) | Calc. (-) | CD (%) |
|----------|--------|-----------|--------|
| T2 | / | +++ | 73 |
| T3 | 10-20 | + | 21 |
| T4 | 20-40 | +++ | 16 |
| T5 | 2-10 | + | 60 |

e : épaisseur de « cake » à l'interface ; Calc. : appréciation sur l'importance de la calcification, CD : taux de colmatage des drains.

TABLEAU 5. CARACTÉRISTIQUES HYDRAULIQUES MESURÉES SUR ÉCHANTILLONS VIERGES ET USAGÉS DU GÉOCOMPOSITE DE DRAINAGE PRÉLEVÉ DANS LA TRANCHÉE T6.

| Essais | Géocomposite de drainage | |
|-----------------------------------|--------------------------|-----------------------|
| | Produit vierge | Produit pollué |
| T6 | | |
| <i>Hydrauliques</i> | | |
| Of d95 (µm) | *92+/-14 | *90+/-14 |
| Perméabilité (m s ⁻¹) | *0,052+/-0,006 | *0,011+/-0,007 |

*NB : seul le filtre du géocomposite a été testé.

TABLEAU 6. CARACTÉRISTIQUES MESURÉES SUR DEUX ÉCHANTILLONS USAGÉS DE GÉOTEXTILES PRÉLEVÉS.

| Numéro tranchée | Taux de carbone | | % Acidifié (hors carbonate CO ₃ ²⁻) |
|--------------------|-----------------|-------------|---|
| | total | inorganique | |
| T4 | 11,64% | 90,89% | 106,00% |
| T2 | 8,75 | 85,48 | 127,00% |

Plusieurs caractéristiques hydrauliques et mécaniques ont été déterminées sur produits vierges et usagés :

- l'ouverture de filtration déterminée suivant la norme NF EN ISO 12956 : caractéristique correspondant à l'ouverture d'un géotextile ou produit apparenté obtenue selon le principe de tamisage par voie humide ;
- la perméabilité déterminée suivant la norme NF EN ISO 11058 : caractéristique mesurée à l'eau sous charge hydraulique constante normalement au plan d'un géotextile ou produit apparenté
- la capacité de débit déterminée suivant la norme NF EN ISO 12958 : caractéristique mesurée sous charge hydraulique constante dans le plan d'un géotextile ou produit apparenté ;

- la résistance à la traction déterminée suivant la norme NF EN ISO 13934-1 : caractéristique correspondant à la force de traction à la rupture d'un géotextile ou produit apparenté à laquelle est associé l'allongement à la rupture

Les résultats des essais hydrauliques et mécaniques sur les produits des tranchées de T2, T3 et T4 sont donnés dans le tableau 4 et les résultats des essais hydrauliques de la tranchée T6 sont donnés dans le tableau 5.

Des essais physico-chimiques ont été réalisés sur deux produits usagés de façon à déterminer le taux de carbone total, obtenu selon la méthode d'oxydation à chaud, et le taux de carbone inorganique. Les résultats obtenus sont présentés dans le tableau 6.

Commentaires :

Les résultats des essais montrent que la plupart des caractéristiques hydrauliques et mécaniques des produits (ouverture de filtration, capacité de débit et résistance à la traction) n'ont pas évolué de manière significative dans le temps. La perméabilité des géotextiles des tranchées T4 (tissé de bandelettes) et T6 (géocomposite) semble, toutefois, avoir diminué d'un facteur de l'ordre de 4 (cf. Tableau 4) par rapport à l'état initial présumé (la même comparaison est impossible pour le non tissé de T3 en l'absence de mesure « produit vierge »). En outre, il est à noter que les essais ont été réalisés suivant les normes en vigueur qui sont adaptées pour des produits vierges. Ceci implique que certaines opérations des protocoles peuvent introduire un biais sur les mesures de produits usagés. Des essais complémentaires sont donc en cours en utilisant des protocoles modifiés par rapport à ceux des normes de façon à être plus adaptés aux produits usagés, en minimisant leur remaniement avant essai.

Autres essais réalisés au laboratoire de mécanique des sols (Irstea Aix-en-Provence)

Des essais classiques d'identification granulométrique ont été effectués sur les divers échantillons de sols prélevés. Pour ce qui concerne la gravette de remplissage des tranchées T2 à T5, il en ressort que globalement le matériau est resté propre. Toutefois, dans les tranchées T5 et surtout T2, la propreté de la gravette se dégrade significativement à proximité du collecteur drainant de fond (jusqu'à 10% de silts et argiles de diamètre inférieur à 50 µm au fond de la tranchée T2) : ce qui est cohérent avec la forte ouverture de filtration ou l'absence de filtre dans ces deux tranchées.

Sept essais d'érosion interne de type HET (Erosion de Trou : Hole Erosion Test) ont été pratiqués sur des échantillons intacts d'argiles litées, prélevés perpendiculairement et parallèlement aux lits. A notre connaissance, c'est une première pour ce type de matériau. Les résultats de ces essais permettent de qualifier l'argile litée du Trièves comme « moyennement sensible à l'érosion interne », au sens de la

classification de R. Fell [8]. Elle se singularise donc parmi les autres argiles déjà testées au laboratoire d'Irstea qui se présentent en général comme « peu ou très peu sensibles à l'érosion ». Cette propriété singulière de l'argile litée du Trièves pourrait être liée à sa stratification en lits alternativement argileux et silteux et corrobore les observations connues de fontis sur les terres agricoles de la région.

Essais Gradient-Ratio (GR) réalisés au LTHE

Principe de l'essai GR sur échantillons de « Sol + Géotextile + Gravier »

Le principe de l'essai, inspiré de la Norme ASTM 5101 [7], est représenté sur la figure 14 : un écoulement d'eau vertical descendant (ou ascendant) est réalisé au travers d'un échantillon comprenant, dans le sens de l'écoulement : au moins 10 cm de sol à tester, un géotextile et les graviers du drain. On mesure la perte de charge de l'écoulement, dans le sol sur 7,5 cm et au travers de la « zone filtrante » (qu'on appellera « filtre ») comprenant le géotextile et les 2,5 cm de sol au contact du géotextile. Le comportement du complexe sol-géotextile-graviers est caractérisé par le rapport des gradients GR défini par :

$$GR = \frac{i_{\text{filtre}}}{i_{\text{sol}}} = \frac{k_{\text{sol}}}{k_{\text{filtre}}}$$

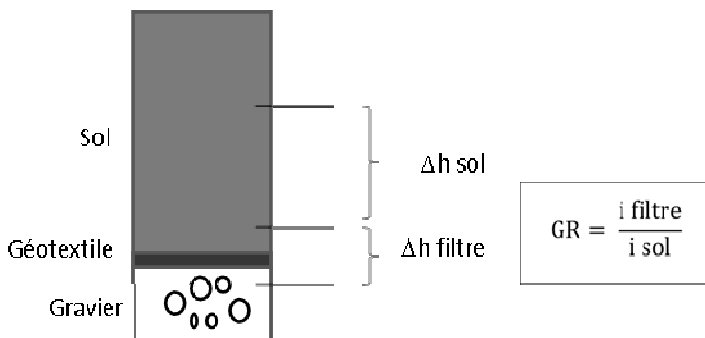
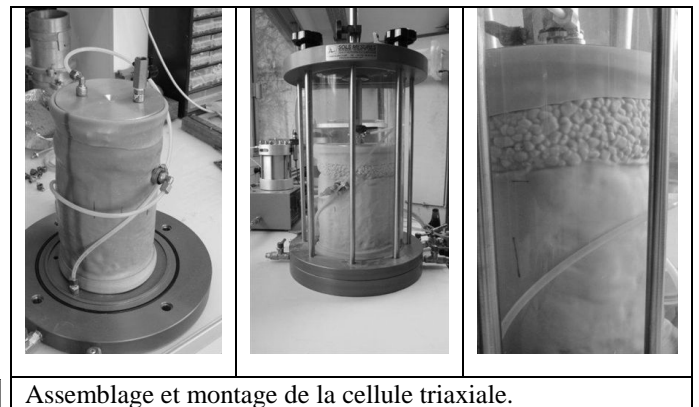
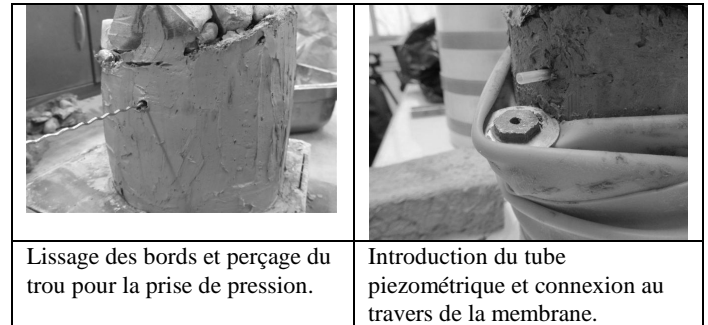
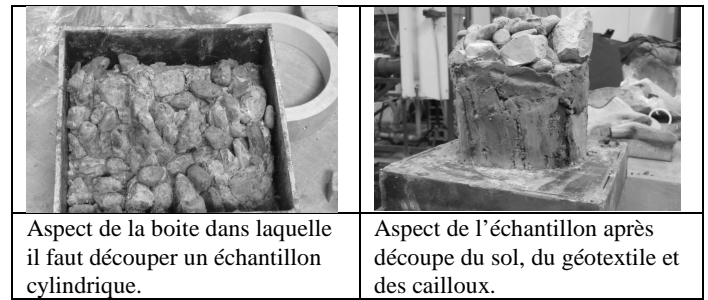


FIGURE 14. PRINCIPE DE L'ESSAI DE « GRADIENT RATIO » (GR)

Lorsque GR est égal à 1, cela signifie que le filtre a la même perméabilité que le sol. Si le GR est inférieur à 1, la zone filtrante est devenue plus perméable que le sol. Un GR supérieur à 1 caractérise une tendance au colmatage de la zone filtrante.

L'intérêt de cet essai est que dans le cas des sols argileux, il n'est pas nécessaire de mesurer le débit. Par contre, la difficulté est de mesurer la pression de manière significative dans le sol à 2,5 cm du géotextile.



FIGURES 15. CONFECTION, PREPARATION ET MISE EN PLACE DE L'ÉPROUVETTE DANS LA CELLULE TRIAXIALE.

Essais réalisés

Initialement, les prélèvements réalisés sur site avaient pour objectif de réaliser les essais de GR soit dans cellules oedométriques avec écoulement vertical, soit dans des cuves parallélépipédiques (30 x 30 x 70 cm) avec un écoulement horizontal similaire à celui in situ. Les essais de GR dans ces cellules à « parois rigides » ont été très vite abandonnés pour les raisons suivantes :

- d'une part, les parois rigides qui favorisent les écoulements préférentiels,
- d'autre part, la difficulté, avec les dispositifs à notre disposition, d'appliquer une contre-pression pour favoriser la saturation des éprouvettes.

Il a donc été décidé de réaliser ces essais dans des cellules triaxiales de grandes dimensions, permettant de tester des éprouvettes de 150 mm de diamètre.

TABLEAU 7. CARACTERISTIQUES DES ESSAIS DE GR REALISES DANS LA CELLULE TRIAXIALE.

| Tranchée | σ_3 (kPa) | Contrepression (u_{aval} en kPa) | i | k (m/s) | GR |
|----------|---------------------|---|------|----------------------|-----|
| T3-1 | 300 | 200 | 19 | $2.7 \cdot 10^{-9}$ | 5,0 |
| | 600 | 500 | 19 | $1.8 \cdot 10^{-9}$ | 1,0 |
| | 600 | 500 | 38 | $1.5 \cdot 10^{-9}$ | 1,9 |
| T3-2 | 500 | 400 | 40 | $1.2 \cdot 10^{-9}$ | 3,2 |
| | 500 | 400 | 80 | $1.2 \cdot 10^{-9}$ | 5,7 |
| T4 | 500 | 400 | 22,5 | $7.9 \cdot 10^{-10}$ | 1,5 |
| T5 | 600 | 500 | 40 | $3.3 \cdot 10^{-10}$ | 1,6 |

Difficultés rencontrées :

La principale difficulté est de préparer une éprouvette cylindrique de diamètre 150 mm en remaniant au minimum l'échantillon (Figures 15) :

- ne pas déplacer les graviers, ni casser les ponts de calcite liant les cailloux entre eux,
- découper éventuellement les gros cailloux à la disceuse...
- découper le géotextile sans le décoller du sol,
- tailler le bloc de sol sans décoller les plaques de l'argile litée.

L'écoulement dans l'éprouvette est vertical ascendant. Un capteur de pression interstitielle est connecté au piézomètre et un appareil de mesure de variation de volume est utilisé pour mesurer la quantité d'eau injectée dans l'échantillon. Un suivi des niveaux d'eau dans les burettes amont et aval valide le bilan de masse de l'écoulement.

L'intérêt du dispositif est d'une part de prévenir tout écoulement préférentiel grâce à la membrane souple plaquée sur les parois de l'échantillon, et d'autre part, de pouvoir appliquer une contre-pression au sein de l'échantillon pour en favoriser la saturation.

Essais et résultats

Des échantillons prélevés sur les tranchées T3, T4 et T5 ont été testés. Lors de l'essai, on suit le volume d'eau injecté au cours du temps et la pression interstitielle mesurée en amont de la zone filtrante (2,5 cm à l'amont du géotextile). Cet essai a été réalisé après une période de saturation de 3 jours sous faible contrainte (50 kPa).

L'interprétation des essais en termes de GR est indiquée dans le tableau 7.

Conclusions

L'essai triaxial, avec le dispositif de mesure de la pression interstitielle, est le mieux adapté pour ce type d'essai. La principale difficulté est la réalisation de l'éprouvette cylindrique avec le moins de remaniement possible.

Globalement, le colmatage des filtres n'est pas avéré avec cet essai. L'analyse des résultats laisse supposer que le « colmatage » avec le géotextile non tissé (T3) est légèrement plus élevé qu'avec les tissés des tranchées 4 et 5. Il n'est pas exclu que la liaison entre les fibres du géotextile non tissé et les couches calcifiées ait permis un moindre remaniement des éprouvettes. A contrario, avec les tissés, l'incrustation de calcaire dans les filaments est bien moindre et le décollement du calcaire et sa fissuration est plus aisé. Ainsi, l'essai, du fait de ses difficultés pratiques de réalisation, ne renseignerait pas vraiment dans ce cas sur les propriétés in situ de la zone filtrante.

Principaux enseignements et premières recommandations à tirer de l'expérimentation

En préambule, il nous semble intéressant de présenter le retour d'expériences ancien de la SNCF sur l'utilisation des géosynthétiques à fonction de filtration-drainage dans le génie civil ferroviaire.

Retour d'expériences de la SNCF

La mise en œuvre de géosynthétiques dans des dispositifs de drainage-filtration se fait depuis une trentaine d'années sur le réseau ferroviaire français, suite notamment à la construction de la première Ligne à Grande Vitesse (Paris-Lyon). Des produits géotextiles perméables, souples, résistants et filtrants sont utilisés pour des fonctions de séparation et de filtration, avec des ouvertures de filtration comprises entre 63 et 100 μm .

Après 30 ans d'utilisation de dispositifs de drainage sur LGV, le retour d'expériences met en évidence des pathologies liées à des problèmes de calcification des collecteurs dans des zones géologiquement identifiées (calcite, argile). En revanche, la bonne durabilité des géosynthétiques-filtres mis en œuvre est observée puisque:

- les caractéristiques mécaniques sont très peu altérées dans le temps (pas de connaissance de zones de déchirement du géosynthétique même sous contraintes ferroviaires).
- les caractéristiques hydrauliques des géosynthétiques sont elles aussi plutôt bien conservées avec l'existence de peu de zones de colmatage du géosynthétique.

Synthèse des résultats de l'expérimentation et premières recommandations

Le projet de recherche DrainAgeing confirme l'efficacité du géosynthétique-filtre non-tissé de faible ouverture de filtration (120 à 140 μm) – celui mis en œuvre dans la tranchée T3 -

afin d'améliorer la durée de vie des dispositifs de drainage, tout en maintenant un rendement suffisant du système. Il faut être conscient, toutefois, que ce résultat n'a été obtenu que sur la base d'une seule tranchée expérimentale par type de géotextile à éprouver (aucune statistique ne s'avère donc possible !), testée sur une période de 18 ans - longue certes mais inférieure à la durée de vie souhaitée pour les ouvrages - et, enfin, n'est valable que pour un seul matériau encaissant : l'argile litée du Trièves. Le fait que cette argile soit apparue comme moyennement érodable au sens de R. Fell corrobore, par contre, la bonne efficacité de la filtration apportée par le géotextile non tissé aiguilleté face à un flux potentiellement élevé de particules fines.

Les résultats des observations et essais corroborent les amorces de colmatage de certaines tranchées, notamment T2 (sans géotextile de pourtour) et T4 (tissé de bandelettes), que l'analyse statistique des mesures d'auscultation permettait de soupçonner. Ce colmatage a principalement eu lieu au niveau de l'interface sol/tranchée (formation d'un cake plus ou moins épais en amont et d'une croûte de calcite plus ou moins poreuse en aval) et au niveau du drain en fond de tranchée (colmatage plus ou moins avancée des fentes). De plus, ces mécanismes semblent corrélés entre eux : l'épaisseur du « cake » amont paraît corrélée positivement avec celle de la croûte de calcite aval et ces deux paramètres semblent corrélés négativement avec le colmatage des drains autoroutiers et la teneur en fines du matériau de drainage en fond de tranchée.

Les dépôts de calcite aux interfaces apparaissent comme une menace qui, à terme, pourrait colmater toutes les tranchées. Aussi, pour les matériaux encaissants sièges de circulation d'eaux chargées en calcaire, des recherches en géochimie restent encore à mener afin de mieux comprendre les phénomènes de précipitation de calcite dans les sols et les interfaces et de trouver les moyens de les ralentir, à défaut de les empêcher.

A ouverture de filtration équivalente, l'utilisation du géotextile non tissé semble à préférer à celle du tissé de bandelettes (ce dernier n'étant de toute façon pas ou peu employé dans les ouvrages de drainage sensu stricto).

Enfin, le géocomposite de la tranchée T6 est apparu très vieilli à l'observation visuelle alors que curieusement ses performances de drainage étaient encore peu affectées. Il faut rester prudent, à notre avis, quant à la longévité d'un tel produit lorsqu'il est employé sur des terrains susceptibles de bouger et donc de le déformer, étant rappelé que son volume drainant est bien moindre que celui d'une tranchée drainante. D'autres recommandations seront probablement à formuler à la lumière des résultats de quelques essais complémentaires en cours de réalisation dans le cadre de l'achèvement du projet DrainAgeing.

Remerciements

Outre de l'IREX au titre du Projet ERINOH, l'opération « DrainAgeing » 2009-2012 de démantèlement des tranchées expérimentales de Roissard a bénéficié des soutiens de la DATAR, du Conseil Général de l'Isère et de la SNCF. Sont également remerciés ici les nombreux personnels techniques et administratifs du LTHE, de l'ONF et d'Irstea Aix-en-Provence et Antony qui ont contribué aux expérimentations et aux essais, ainsi que les entreprises locales qui sont intervenues sur le site et le CEREGE Aix-en-Provence pour la mise à disposition de son microscope à balayage électronique.

Références

- [1] Faure Y.H., Farkouh B., Mériaux P. (1994). *Long term behaviour of trench drains in the Alps*. Fifth International Conference on Geotextiles, Geomembranes and Related Products, Singapore, tome 2, pp. 747-750, sept. 1994.
- [2] Faure Y.H., Kehila Y., Farkouh B. (1996). *Behaviour of experimental in-situ trench drains in varved clays*. Proceedings Geofilters'96, Montreal, pp. 543-552, may 1996.
- [3] Chouchene W. (2010). *Faisabilité d'utilisation du logiciel statistique SURVEY pour l'analyse des mesures d'auscultation des mouvements de terrain*. Rapport de stage Master Mécanique et Ingénierie. Université J. Monnet de St Etienne - Cemagref, sept. 2010.
- [4] Verstaavel M., Mériaux P., Faure Y.H. (2010). *Etude du vieillissement des géotextiles-filtres utilisés en tranchées drainantes, sur site expérimental dans le Trièves*. Rapport de recherches Cemagref-LTHE pour le PGRN et l'IREX, février 2010, 71 p.
- [5] Faure Y.H., Mériaux P., Veylon G., Barthe M., Verstaavel M., Bertrand C. (2012). *Comment vieillissent les géofiltres ? Auscultation du dispositif expérimental de Roissard*. Sciences Eaux & Territoires n°8, 2012.
- [6] Veylon G., Barthe M., Mériaux P., Bernard A., Gallo R., Faure Y.H. (2012). *Ageing of geotextiles in drainage systems – field observations*. Colloque EuroGéo, 2012.
- [7] ASTM D-5101-01 : *Standard test method for measuring the soil geotextile clogging potential by the Gradient Ratio*. Annual Book of ASTM Standards, Philadelphia, PA, USA, Volume 04.13, May 2003.
- [8] Wan C.F., Fell R. (2004). *Laboratory Tests on the Rate of Piping Erosion of Soils in Embankment Dams*, Geotechnical Testing Journal 27 (3).

Mots clés

Ouvrages de drainage – Colmatage – Géosynthétiques – Filtres – Argiles litées – Erosion interne